POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL: EXPERIENCIAS FRENTE A UNA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.



JUAN SEBASTIÁN RODRÍGUEZ MARTÍNEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL: EXPERIENCIAS FRENTE A UNA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

JUAN SEBASTIÁN RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de Ingeniero Civil

Aprobado por:
I.C. Jessica María Ramírez Cuello, MsC

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2023

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.
Rector General

P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O. P
Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.
Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN
secretaria de División Sede Villavicencio

LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria.

Primeramente, a Dios por guiarme en cada etapa de mi formación académica y darme la sabiduría para tomar las decisiones correctas en el proceso de formación.

A mi madre y padre por estar presentes en los momentos difíciles y brindarme ese apoyo incondicional para salir adelante y llegar a cumplir todos mis propósitos de vida.

Por último, a cada uno de los ingenieros que aportaron su grano de arena, compartiendo su conocimiento, expresando sus ideas para fortalecer mis cualidades, haciendo posible la culminación de esta magnífica carrera.

Tabla de Contenido

Pág.

Lista de Figuras

Pág.

Lista de Tablas

Resumen

La monografía a continuación, tiene por objeto principal realizar una revisión teórica documental respecto al uso del poliestireno expandido (EPS) en obras de ingeniería civil con experiencias frente a una problemática ambiental, para esto se realiza un marco conceptual con el fin de contextualizar el tema en el marco nacional e internacional y así mismo un histórico a lo largo de la historia.

Además, se mencionan diferentes beneficios de este material, producto categorizar el uso de Poliestireno Expandido en obras de Ingeniería Civil a nivel internacional, a través de revisión bibliográfica. La monografía presenta un análisis sobre el uso y las aplicaciones del poliestireno, al igual recomendaciones para el manejo, disposición y reutilización del Poliestireno Expandido, en obras de Ingeniería Civil.

Es importante mencionar que el estado actual del desarrollo de proyectos de ingeniería con Poliestireno Expandido (PS) hace parte de estudios académicos y de algunos centros de investigación. Además, se mencionan diferentes beneficios de este material, producto de la revisión extensa de bibliografía sobre este material. Cada uno de los procesos identifica la mejora en las diferentes propiedades en el resultado final.

Palabras clave: poliestireno expandido, problemática, aplicaciones, uso, reutilización, material.

Abstract

The main purpose of the following monograph is to carry out a documentary theoretical review regarding the use of expanded polystyrene (EPS) in civil engineering works with experiences in the face of an environmental problem. For this purpose, a conceptual framework is made in order to contextualize the subject in the national and international framework, as well as a history throughout history.

In addition, different benefits of this material are mentioned, product categorizing the use of Expanded Polystyrene in Civil Engineering works at an international level, through a bibliographic review. The monograph presents an analysis of the use and applications of polystyrene, as well as recommendations for the handling, disposal and reuse of expanded polystyrene in civil engineering works.

It is important to mention that the current status of the development of engineering projects with Expanded Polystyrene (EPS) is part of academic studies and some research centers. In addition, different benefits of this material are mentioned, product of the extensive review of bibliography on this material. Each of the processes identifies the improvement in the different properties in the final result.

Keywords: expanded polystyrene, problems, applications, use, reuse, material.

Glosario

(ACI) American Concrete Institute

(ASTM) American Society for Testing and Materials

(EPS) Poliestireno Expandido

(Ed) Módulo Elasticidad Dinámico

(EIA) Estudios de Impacto Ambiental

(G) Módulo de Cizallamiento

(GB) Geoperlas

(GGBS) Escoria de Alto Horno Granulada Molida

(HAL) Áridos ligeros

(HAP) Hormigón Agregado de Poliestireno

(HCL) Hormigón Celular Ligero

(IEE) Índice Global de Ecoeficiencia

(MEPS) Poliestireno Expandido Modificado

(NTC) Normas Técnicas Colombianas

(PAC) Concreto Agregado de Poliestireno

(PA) Árido de Poliestireno

(PCA) Panel de Control Ambiental

(RCD) Residuos de demolición y construcción

(RTE) Reglamento Técnico de Edificaciones

(XPS) Poliestireno Extruido

Introducción

El poliestireno expandido (EPS) es un material termoplástico ampliamente utilizado en la construcción de edificios y obras de ingeniería civil por sus propiedades de ligereza, versatilidad y bajo costo (EPS Industry Alliance, 2023) Sin embargo, su uso ha generado una problemática ambiental importante debido a que no es biodegradable y puede tardar siglos en descomponerse (Comisión Europea., 2018)

En respuesta a esta problemática, muchos países han tomado medidas para regular y controlar el uso de EPS en la construcción. La Unión Europea, por ejemplo, ha implementado políticas para fomentar el reciclaje y reducir el uso de EPS en la construcción (Comisión Europea., 2018) Otros países, como Australia y Nueva Zelanda, han prohibido el uso de EPS en ciertas aplicaciones (Departamento de Medio Ambiente y Energía., 2019) En Colombia es conocido con el nombre de icopor. Pero, este material no es recuperado o reutilizado en la mayor parte del país y generalmente, es depositado en la basura común, ocasionando contaminación.

A pesar de la problemática ambiental asociada con el EPS, su uso apropiado y sostenible puede ser una parte importante de un enfoque integrado para la construcción sostenible. Según la Asociación Americana de la Industria del Aislamiento (National Insulation Association NIA, 2012) el EPS puede ser un material eficiente para la construcción con un alto desempeño energético.

Es importante tener en cuenta que el uso de EPS en obras de ingeniería civil requiere un equilibrio entre la eficiencia energética, el costo y la sostenibilidad ambiental. Una evaluación cuidadosa de sus ventajas y desventajas y una regulación adecuada son necesarias para asegurar su uso sostenible en la construcción.

Planteamiento del Problema

Descripción del Problema

La gestión de residuos sólidos es un tema que en la actualidad ha ido tomando fuerza. La reducción del impacto ambiental, a través del mejoramiento de materiales y uso adecuado de los mismos, es una alternativa para la disminución de la contaminación producida en los últimos años. (BBC, 2015)

Los residuos plásticos como el Poliestireno expandido (EPS), son uno de los materiales que representa una cantidad considerable en el desarrollo de plásticos térmicos, en cuanto a Colombia, se generan alrededor de 20 millones de toneladas al año, de las cuales el 59 % corresponde a actividades industriales y el 41% corresponde al uso de los hogares de acuerdo al Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el 2018 a pesar de sus múltiples ventajas, su disposición final no siempre es la adecuada en muchos casos termina en los vertederos o son incinerados, es decir, solo el 17 % de este es aprovechado, pero este porcentaje, con métodos y programas podría ser hasta de un 40% (Portafolio, 2022) algo que sin duda beneficia al medio ambiente y a la humanidad en general.

Investigaciones demuestran, que tiene propiedades como aislante y gracias a su bajo peso, su estructura permite incrementar la resistencia a compresión sobre todo en condiciones sometidas a la humedad, aportando como relleno de base estructural para diferentes tipos de construcciones horizontales, pero también es utilizado en concretos y materiales granulares mejorando las propiedades térmicas, de absorción de agua, durabilidad, resistencia a la compresión a corto plazo. Sin embargo, su impacto ambiental ha sido objeto de críticas y preocupaciones, ya que el EPS es un material no biodegradable y puede tardar siglos en descomponerse en el medio ambiente. (García-Segura et ál, 2017)

De acuerdo a lo anterior se propone la siguiente pregunta problema a desarrollar:

¿Cuáles son los usos más destacados del poliestireno expandido como resultado a una problemática ambiental, aprovechando las propiedades de dicho material, en el campo de la ingeniería civil?

Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión documental teórica de las aplicaciones y el uso de Poliestireno Expandido en obras de Ingeniería Civil a nivel nacional e internacional

.

Objetivo Específico

Contextualizar la monografía a través de la descripción de conceptos técnicos, teóricos y normativa vigente sobre el Poliestireno Expandido.

Sintetizar los diferentes usos y aplicaciones del Poliestireno Expandido en obras de Ingeniería Civil.

Establecer recomendaciones para el uso, manejo, disposición y reutilización del Poliestireno Expandido, en obras de Ingeniería Civil.

Justificación

Los problemas que enfrenta la Ingeniería Civil en la actualidad, más allá de los retos y exigencias de las construcciones, son aquellos sustancialmente dados por la necesidad de ahorrar energía, materiales, recursos, pero sobre todo preservar los ecosistemas y reducir el impacto al medio ambiente (Arancibia, 2011) Puntualmente en lugares donde los consumos energéticos son mayores, resultan beneficiados de las propiedades del polietileno expandido (EPS). (Ospina, 2017) en la actualidad se logran apreciar construcciones con este material como lo son las casas de vivienda, hoteles, oficinal, hospitales, almacenes, iglesias y demás. Pero también pueden ser vistas en aplicaciones hidráulicas, canales, cimentaciones, entre otras.

A pesar, de su uso en diferentes construcciones, es un material reciente empleado en la construcción, teniendo en cuenta sus inicios en noruega hacia los años 60 como material aislante y permitiendo que no se congelara el subsuelo eliminando problemas del deshielo, sin embargo, es poco lo que se aprovecha dicho material, respecto a los beneficios que este puede llegar a producir, esto debido a su complejidad en reutilización o fabricación tal como se me menciono anteriormente, razón por la cual es necesario continuar con este tipo de estudios que permitan la trazabilidad en la información y una ruta actualizada de los logros y avances obtenidos hasta el momento.

Dada las diferentes tipos de construcciones verticales y horizontales, es necesario identificar como es su comportamiento, uso y aplicación a nivel nacional e internacional, lo cual permite el desarrollo futuro a largo plazo de diferentes consultas, estudios o investigaciones gracias a la monografía, sin lugar a duda, permite no solo sintetizar y actualizar la información del uso del Poliestireno Expandido, sino, además, ser fuente para futuras investigaciones en un ámbito académico en pro a mitigar el deterioro del medio ambiente.

Estado del Arte

Antecedentes

El Poliestireno Expandido (EPS) es un material plástico espumado, derivado del poliestireno y utilizado en el sector del envase y la construcción. El cual genera 6000 toneladas de residuos al año y un tiempo de descomposición de 500 a mil años Los residuos de poliestireno en los rellenos sanitarios ocupan un espacio bastante significativo ya que el volumen equivalente a una tonelada de poliestireno es el mismo para 100 toneladas de otro tipo de materiales. El polietileno expandido (EPS), es principalmente usado como material aligerante en proyectos de Ingeniería Civil, en construcciones horizontales, como verticales. Gracias a las propiedades que tiene el EPS como aligerante también se le suman la, resistencia, la cohesión, entre otras. (Anape, 2011)

Sus inicios se dieron en los años 60 en noruega, a pesar de su bajo peso, posee una gran resistencia a la compresión, siendo una solución idónea para su uso en bases estructurales. Los principales usos en materia de análisis son:

Figura 1. Principales usos del Poliestireno Expandido (EPS)

- Carreteras Libres de Asentamientos
- Elevación Libre de Asentamientos
- Reducción de Carga Mediante Relleno
- Elevación Para Gaseoductos
- Reducción de Cargas Laterales
- Barreras de Ruido
- Pampas
- Pavimentos
- Pisos Industriales

La producción del mismo se da en dos fases sin importar su uso final:

Figura 2. Fases de producción general

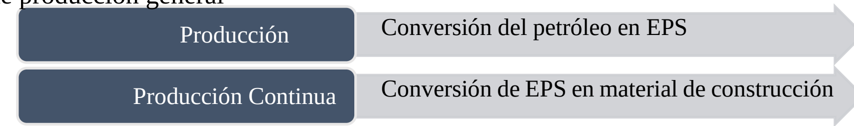


Figura 3. Fases de producción uso final

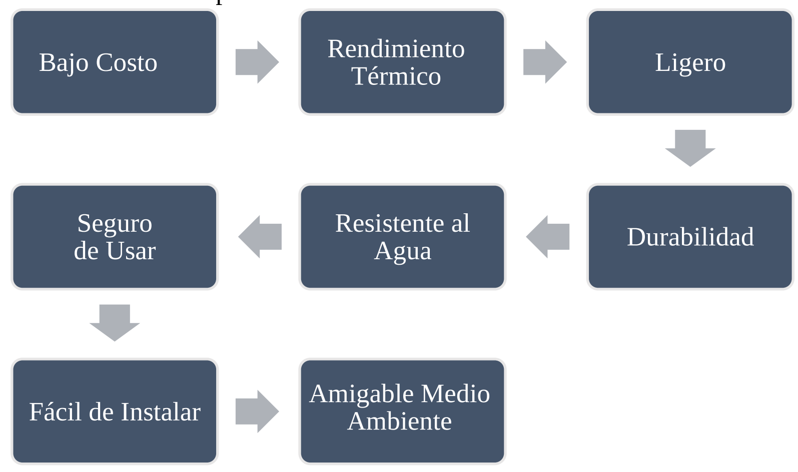


Es importante mencionar que para los inicios este material se usaba como sistema de aislamiento convencional sin embargo los últimos estudios y este nuevo siglo busca nuevas aplicaciones.

La importancia que el EPS le ofrece a una construcción es dar un material inerte que no sufre de estado de putrefacción además no atrae roedores o plagas, convirtiéndolo en un proceso popular, otro uso de aplicación y reutilización fue el relleno como base ligero para algunas vías.

Es materia de análisis gracias a diferentes ventajas:

Figura 4. Ventajas del Poliestireno Expandido



En la actualidad su análisis se centra principalmente en dos puntos los cuales son la resistencia y ligereza en relación con la disminución de presiones laterales, la primera está dada

porque su peso es 100 veces mejor que otro tipo de suelo común y el siguiente es que gracias a su baja densidad, el empuje es prácticamente nulo. (Tecnolopol, 2020)

A pesar de sus altas propiedades estas pueden darse en un ámbito de análisis

- Propiedades físicas
- Propiedades mecánicas
- Relativas al medio ambiente
- Relativas a la higiene
- Relativas a la seguridad en el trabajo

Estado del Conocimiento Nacional

Reciclaje Termo - Mecánico del Poliestireno Expandido (Icopor), como una Estrategia de Mitigación de su Impacto Ambiental en Rellenos Sanitarios.

En la Universidad de Manizales, en 2013 se llevó a cabo una monografía, esta consistió en realizar un modelo para reducir el volumen de poliestireno expandido a través del reciclaje termo-mecánico, el resultado es una resina que reduce el espacio de ocupación de este material, por lo tanto, es posible utilizar la resina resultante a nivel industrial en la sustitución o modificación de materiales, esto se traduce en una forma de reusar de forma eficaz el poliestireno expandido sin causar afectación ambiental. (Quintero, 2013)

Investigación de Mercados Aplicada a la Gestión de Poliestireno Expandido en la Ciudad de Pereira.

El proyecto desarrollado en el 2015, es un desafío, dado que se quiere implementar un sistema de logística inversa en Colombia, dada la problemática ambiental creada por el poliestireno expandido, para ellos se realiza un estudio de mercado en la ciudad de Pereira y expone la posibilidad de crear una organización para el acopio del poliestireno expandido, mostrando lo que están haciendo en algunos países para el reciclaje del EPS, algunos casos de grandes compañías con sistemas de logísticas inversas viables son Cisco, Xerox, que están comprometidas con la sostenibilidad del medio ambiente. (Contreras, 2015)

Uso de Poliestireno Expandido Reciclado para la Obtención de un Recubrimiento Anticorrosivo

En el 2016, varios autores realizaron una tesis donde plantearon un diseño experimental, el cual desarrolla diferentes formulaciones con el poliestireno expandido reciclado y otros químicos aditivos, se comparó en cuanto a su eficiencia y capacidad para la previsión de la corrosión, el recubrimiento obtenido con uno comercial, de lo cual se pudo concluir que el recubrimiento desarrollado en este proyecto es más eficiente en el control de la corrosión.

Por lo tanto, la tesis aporta una forma de reusar el poliestireno expandido, además que, dentro de los diseños realizados, se contempló un ahorro significativo y una posible sustitución del material, esto abre campo a productos nuevos que sean creados con el material reciclado. (Meza Castellar, 2016)

Síntesis y Caracterización de la Mezcla Polipropileno-Poliestireno Expandido Reciclado como Alternativa para el Proceso de Producción de Autopartes.

En este trabajo, las autoras hacen referencia a que el polipropileno es una de las materias primas principales en la industria de las autopartes, evidenciaron en una mezcla de este componente y poliestireno expandido reciclado una alternativa y realizaron ensayos térmicos mecánicos para verificar la viabilidad. El resultado fue la comprobación de las propiedades térmicas, reflejando un ahorro en los insumos y una alternativa como sustituto para la fibra de vidrio. (Betancourt S., 2016)

Esta tesis nos aporta otra manera de reusar el poliestireno expandido, ya que a través de los ensayos en los cuales se sustituyó la fibra de vidrio con la mezcla de polipropileno-poliestireno expandido en la producción de autopartes, se comprobó la viabilidad de la incorporación de un residuo a un proceso productivo. Adicionalmente, se visibilizó un ahorro significativo con la sustitución del material y se abrió un campo de estudio con un sinfín de posibilidades para la creación de nuevos materiales.

Aprovechamiento de Residuos Industriales de Poliuretano Termoestables en la Elaboración de Paneles Para Terminados Constructivos, a partir de Patente Brasileña.

En esta tesis Juan Sánchez y Oscar González, se basan en una monografía de Sao Pablo, donde se abarca la ejecución de láminas en base de poliuretano termoestable. Los autores, teniendo en cuenta la monografía, describen la mezcla de polímeros con resinas naturales para crear láminas que tengan en cuenta el aspecto medioambiental y en este sentido permitan en el campo de la ingeniería, el uso de nuevos materiales alternativos que puedan disminuir costos garantizando una resistencia igual o mayor a las materias primas convencionales en el ámbito de la construcción. (Sanchez & Gonzalez., 2017)

Esta tesis nos aporta los diferentes métodos de reciclaje y reutilización que hacen en varios productos, entre esos los paneles para construcción en Colombia. Lo que evidencia la posibilidad real, de brindar alternativas ecológicamente amigables en las materias primas que se usan en la rama de la construcción en el país. Igualmente genera una concientización acerca del uso no óptimo que se da a los materiales en Latinoamérica y por supuesto en Colombia, visibilizando los problemas que se generan a partir del poco aprovechamiento de los residuos.

Análisis de Alternativas para la Gestión Ambiental de los Residuos de Demolición y Construcción (RCD), en la Ciudad de Bogotá a partir del Ciclo de Vida y la Economía Circular.

En el año 2017, el autor Jorge Beltrán visualiza la problemática de los residuos de demolición y construcción en Bogotá y hace un análisis de documentos y políticas para llegar a formular alternativas para el manejo de RCD, apuntándole a la disminución de los materiales necesarios, reduciendo de esta manera los desechos (Beltan, 2017). Esto aporta al trabajo una regulación actual en cuestión de residuos de demolición y construcción.

Estado del Arte Internacional

Reciclaje de Poliestireno Expandido de Empaques

En este artículo del 2010, luego de obtenerse los resultados producto de un análisis térmico e infrarrojo, se demuestra que el poliestireno expandido no se degrada durante el proceso de recuperación y mejora sus propiedades térmicas.

De igual forma, se presentan pruebas de tensión, donde tanto el poliestireno original como el reciclado tienen un comportamiento mecánico similar, lo cual permite concluir que en algunos procesos industriales es posible usar el poliestireno reciclado sin afectar en gran medida la composición del producto final e incluso reduciendo los costos de este. (Samper, 2010)

Estudio Técnico y Económico de una Vivienda Social utilizando Ladrillos de Poliestireno Expandido.

En el 2010 se comparó una vivienda social construida de paneles de pino con una construida a partir de poliestireno expandido. Como consecuencia de ese estudio, se evidencio que la vivienda construida con ladrillos de poliestireno a pesar de tener mayor costo posee una mayor versatilidad, es más resistente a agentes externos y tiene una excelente aislación térmica acústica. (Vasquez, 2010)

En este trabajo se logró demostrar que el poliestireno expandido cuenta con ventajas muy importantes como: ejecución de obras con mayor rapidez, una reducción de mano de obra y maquinaria. Pero lo más destacado, es que a nivel ambiental se logra reducir la producción de escombro.

Análisis del Poliestireno Expandido como Material de Relleno en Suelos de Alta Compresibilidad.

En 2012 los autores Giovanny Ruiz e Iván Ballesteros, realizan una tesis para usar el Poliestireno Expandido como material de relleno para mejorar los suelos, en este realizan varios ensayos, se miden fuerzas hidráulicas, cargas sísmicas. (Giovanny, 2012)

Esta tesis nos aporta los ensayos y arroja los resultados del comportamiento del poliestireno expandido como óptimo para las construcciones.

Bloques de Poliestireno Expandido y su Uso en Terraplenes

En el año 2014, desde la Universidad Central de Ecuador se planteó un proyecto donde los bloques de poliestireno expandido juegan un papel en el área de la construcción, y se comparan las especificaciones de las normas ASTM, adicionalmente se hacen ensayos de comprensión, flexión, absorción y placa sobre bloques de poliestireno expandido y se comprueban las propiedades mecánicas de los bloques expandidos fabricados a nivel nacional, determinando si los mismos pueden soportar cargas de tráfico (Almeida Avila, 2014). Se pudo evidenciar que existe una la posibilidad real de tener alternativas amigables con el medio ambiente y se constata las propiedades del poliestireno expandido son competentes para la industria de la construcción.

La Utilización del Poliestireno Expandido en el Campo de la Geotecnia

Para llevo a cabo, la investigación que planteaba el estudio de variadas soluciones constructivas para la geotecnia, y se logró evidenciar las ventajas significativas para la reducción de asentamiento y el aumento en la homogeneidad de la superficie. Con este trabajo se logró demostrar que el poliestireno expandido se puede incorporar en las cimentaciones, y además demostrar su aplicación, esto debido al usar el material se logra reducir el peso estructural, sin que se vea afectada la rigidez (Dávila, 2014). Además , confirma que el poliestireno expandido puede ser sustituto de un terraplén en situaciones fijas y como material ligero en sistemas de contención de tierras, se comprueba que dichos bloques de EPS pueden ser usados en las cimentaciones, dejando claro que este material representa una alternativa para la construcción.

Evaluación de Alternativas de Reciclaje de Poliestireno Expandido (Duropor)

Los autores hacen una investigación de dos alternativas para reciclar el poliestireno expandido, la primera es producir una resina de intercambio iónico y la segunda un recubrimiento plástico, concluyeron que la resina para recubrimiento es de menor costo en relación con la primera

alternativa obteniendo mejores resultados en la aplicación final (Cordoba, 2015). En este trabajo puede aportar alternativas de aplicación con el reciclaje del EPS.

Reutilización del Poliestireno en Morteros de Cemento Liviano

En el año 2016, los autores de la investigación encontrada plantearon evaluar la reutilización del poliestireno expandido con el fin lograr morteros de cemento liviano, se estudiaron cuatro factores: tipo de EPS, contenido de EPS, mezcla de aditivos y tipo de cemento, los cuales fueron estudiados y analizados. Y se logró demostrar como manipular los factores y las interacciones sinérgicas para fabricar morteros ligeros que cumplan con las normas relevantes de la Unión Europea (UE). Dichos morteros contienen un 60% de residuos de EPS, aditivos en bajas cantidades y un bajo porcentaje de Clinker. (V. Ferrándiz-Mas, 2019)

Metodología

La metodología empleada en la monografía es de carácter cualitativa ya que recopila información y con ello identifica los conceptos generales, aplicaciones y usos del Poliestireno Expandido. El desarrollo metodológico se compone por las siguientes etapas tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1. Metodología

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Contextualizar la monografía a través de la descripción de conceptos técnicos, teóricos y normativos sobre el Polietileno Expandido.	Recopilación y descripción de información	Se pretende recopilar los diferentes procesos de obtención, conceptualización y normativa vigente aplicable para el uso y disposición del polietileno expansivo el cual se realiza a partir de documentos de organizaciones oficiales, artículos de revistas, y tesis de grados referente al tema mediante una metodología descriptiva.	Rodríguez Juan, Universidad Santo Tomas.
Sintetizar los diferentes usos y aplicaciones del Poliestireno Expandido en obras de Ingeniería Civil.	Identificación y análisis de usos y aplicaciones del polietileno expandido	Continúo a una conceptualización teórica y normativa, se pretende identificar las principales aplicaciones y usos del polietileno en la Ingeniería Civil. Identificando procesos y ramas a las cuales va dirigidas realizadas a partir de fuentes secundarias como artículos, tesis, documentos, libros, etc.	Rodríguez Juan, Universidad Santo Tomas.

Tabla 1. Continuación

Establecer recomendaciones para el uso, manejo, disposición y reutilización del Poliestireno Expandido, en obras de Ingeniería Civil.	Conclusiones y recomendaciones, Síntesis y actualización de la información	Una vez ordenada y completa la información analizada es necesario determinar recomendaciones a lo largo de la monografía para futuras investigaciones resaltando la importancia de este tipo de documentos.	Rodríguez Juan, Universidad Santo Tomas.

Desarrollo

Conceptos Teóricos sobre el Poliestireno Expandido.

El poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés) es un material plástico espumado utilizado en la ingeniería civil por sus propiedades aislantes, livianas y de resistencia a la humedad. A continuación, se presentan conceptos teóricos relacionados con el uso del EPS en la ingeniería civil:

Resistencia Mecánica

El EPS es un material relativamente frágil y no es adecuado para soportar cargas estructurales significativas. Sin embargo, se utiliza en la construcción como material de relleno, encofrado perdido o para crear pendientes en las cubiertas. (Fomento, 2006)

Comportamiento ante el Fuego

El EPS es un material inflamable, pero su baja densidad y estructura celular abierta hacen que no contribuya significativamente a la propagación del fuego. Sin embargo, existen aditivos retardantes de llama que se pueden añadir al EPS para mejorar su comportamiento ante el fuego. (Fomento, 2006)

Reciclaje

El EPS es un material que puede ser reciclado y reutilizado en nuevos productos. El reciclaje del EPS en la construcción se está convirtiendo en una práctica cada vez más común, ya que reduce los residuos generados en la obra. (Cataluña, 2016)

Propiedades Térmicas

El EPS es un material con una baja conductividad térmica, lo que lo hace ideal para su uso como aislante en la construcción de edificios y viviendas. Según estudios como el realizado por (De Marco, 2018) el EPS puede reducir hasta en un 25% el consumo energético de un edificio.

Tabla 2. Conceptos Teóricos sobre el Poliestireno Expandido

Concepto	Definición
Resistencia Mecánica	El EPS es un material frágil y no apto para soportar cargas estructurales, pero se puede utilizar como material de relleno, encofrado perdido o para crear pendientes en cubiertas. (Fomento, 2006)
Comportamiento ante el Fuego	El EPS es inflamable, pero su baja densidad y estructura celular abierta limitan su contribución a la propagación del fuego. Existen aditivos retardantes de llama que se pueden añadir al EPS para mejorar su comportamiento ante el fuego. (Fomento, 2006)
Reciclar	El EPS es un material reciclable que se puede reutilizar en nuevos productos. Su reciclaje en la construcción se está convirtiendo en una práctica cada vez más común. (Cataluña, 2016)
Propiedades Térmicas	El EPS tiene una baja conductividad térmica, lo que lo hace ideal para su uso como aislante en la construcción de edificios y viviendas. Según estudios, el EPS puede reducir hasta en un 25% el consumo energético de un edificio. (De Marco, 2018)

Conceptos Técnicos sobre el Poliestireno Expandido

De igual forma se presentan conceptos técnicos relacionados con el uso del EPS en la ingeniería civil:

Según Babu, D., Babu, K. y Tiong-Huan, el Poliestireno expandido (EPS) se considera uno de los materiales habituales utilizados en lugar de áridos para reducir el peso y la conductividad térmica del hormigón. El EPS es un tipo de espuma estable de baja densidad, formada por discretos huecos de aire en una matriz polimérica. Como agregado artificial ligero, el EPS está disponible comercialmente y puede incorporarse al mortero o al hormigón para producir hormigón ligero aislante. (Babu, 2006)

El EPS, también denominado poliestirol expandido, es un tipo de espuma polimérica estable de poliestireno de densidad ultrabaja formada por discretos vacíos de aire en una matriz polimérica, (Doroudiani, 2010)

Según Ferrándiz et al. (2014) El poliestireno expandido (EPS) es un termoplástico de hidrocarburo, inerte y de baja densidad. hidrocarburos, de baja densidad, muy utilizado en envases y térmico. El EPS es estable en presencia de la mayoría de las sustancias químicas con la excepción de ácidos concentrados, disolventes orgánicos y compuestos alifáticos saturados que disuelven el EPS. (Ferrándiz-Mas et ál, 2014)

El poliestireno expandido (EPS) es la espuma polimérica más común, se utiliza ampliamente como núcleo aislante en los paneles estructurales. El EPS es un material plástico de célula cerrada, rígido resistente y reciclable, que se ha utilizado en diversas aplicaciones, como embalajes de mitigación de impacto estructurales, material de construcción para terraplenes de carreteras, estructuras de hormigón aislado (ICF), así como hormigón ligero espumado con EPS. (Chen, 2015)

La geoespuma (poliestireno expandido, EPS) se refiere a sólidos de espuma plástica de baja densidad en forma de bloque o planos cuando se utiliza como sustituto del suelo ligero o como aislamiento térmico en aplicaciones geotécnicas, el EPS es un material muy ligero con buena resistencia a la compresión, alta resistencia al agua y excelentes propiedades de amortiguación. La mayoría de estas características dependen de la densidad y la fusión de la espuma moldeada. (Canakci, 2016)

El poliestireno expandido (EPS) es un material geosintético polimérico con una estructura celular cerrada. Su fabricación implica el calentamiento de perlas expandibles de poliestireno con vapor, yen moldes para crear bloques prismáticos de EPS. (Mohajerani, 2017)

La geoespuma de EPS se crea mediante la extrusión de poliestireno expandido (EPS), constituido por numerosas perlas rellenas de aire unidas entre sí. A pesar de la aplicación de la geoespuma de EPS durante los últimos 50 años (Khan, 2018), la investigación sobre el uso de la geoespuma de EPS en la construcción sigue en curso, con el desarrollo de directrices y especificaciones mejoradas (Stark, 2004) La geoespuma de EPS ofrece serie de ventajas para su uso como material de relleno, en sustitución del suelo. Estas incluyen: Baja densidad (alrededor del 1% del suelo), lo que reduce tanto las cargas muertas como las sísmicas, se corta fácilmente en diversas formas, fácil de instalar y las propiedades físicas y mecánicas deseables.

Según Tafreshi, Siabil & Dawson, el objetivo de la geoespuma de EPS es proporcionar relleno de material ligero utilizado en la construcción de carreteras o vías férreas y en los estribos de puentes. Además, otros ámbitos de aplicación de la geoespuma de EPS son la protección de

tuberías y alcantarillas, rotura de puente térmico (aislamiento), sistemas de barrera contra el oleaje, etc. (Tafreshi, 2020)

El poliestireno se produce a partir del estireno (vinilbenceno), procedente de la refinería de petróleo crudo. Se presenta en forma líquida a temperatura ambiente, pero el aumento de la temperatura hasta 100 ◦C, el poliestireno perla granulada. Además de utilizar este producto para envasado de alimentos y dispositivos de protección, su profundo impacto en la industria de la construcción con su ultra-ligero y superior térmica es innegable. (Maghfouri M. A., 2022)

El poliestireno expandido (EPS) es un material termoplástico que se elabora a partir de un material sólido conocido como poliestireno expandible y un agente espumante. (Comisión Europea., 2018). El proceso de fabricación consiste en calentar el poliestireno expandible hasta que se expanda y se convierta en un material ligero y poroso con propiedades aislantes.

Tabla 3. Conceptos Técnicos sobre el Poliestireno Expandido

Características	**Descripción**
Composición	Espuma polimérica de poliestireno de densidad ultrabaja con huecos de aire en una matriz polimérica. (Babu, 2006)
Propiedades físicas	Ligereza, baja conductividad térmica, resistencia al agua y a la compresión, reciclable. (Giuliani, 2020)
Usos en construcción	Núcleo aislante en paneles estructurales, terraplenes de carreteras, estructuras de hormigón aislado, hormigón ligero, sustituto de suelo ligero y aislamiento térmico en aplicaciones geotécnicas, entre otros. (Chen, 2015)
Aplicaciones	Embalajes de mitigación de impacto, material de construcción, protección de tuberías y alcantarillas, rotura de puente térmico, sistemas de barrera contra el oleaje, entre otros. (Chen, 2015)
Ventajas	Ligereza, fácil instalación, buenas propiedades físicas y mecánicas, bajo peso, reducción de cargas muertas y sísmicas, propiedades de amortiguación, resistencia a la compresión y al agua. (Giuliani, 2020)
Fabricación	Calentamiento de perlas expandibles de poliestireno con vapor y moldeado en bloques prismáticos. (Mohajerani, 2017)
Composición química	Termoplástico de hidrocarburo, inerte y de baja densidad. Estable en presencia de la mayoría de las sustancias químicas. (Ferrándiz-Mas et ál, 2014)

Normativa sobre el poliestireno expandido en Colombia

A nivel normativo se lista la normativa utilizada en Colombia aplicables para la construcción, uso y disposición del Poliestireno Expandido (EPS):

Ley 1259 de 2008

La Ley 1259 de 2008 establece los lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, incluyendo los residuos de EPS.

Decreto 1077 de 2015

El Decreto 1077 de 2015 establece el procedimiento para la obtención de la Licencia Ambiental, en la cual se deben incluir las medidas de manejo y disposición del EPS.

Resolución 1407 de 2018

La Resolución 1407 de 2018 establece los lineamientos para el manejo y disposición de residuos de EPS en Colombia, incluyendo la clasificación, recolección, transporte y disposición final.

Norma Técnica para el Manejo y Disposición de Residuos Sólidos (NTC 5835)

La NTC 5835 establece las especificaciones técnicas y los requisitos para el manejo y la disposición de residuos sólidos, incluyendo los residuos de EPS. (NTC, 2019)

Norma Técnica Colombiana NTC 3503:

La NTC 3503 establece las especificaciones técnicas y los requisitos para la producción, almacenamiento, transporte y uso del EPS en la construcción de obras civiles. (NTC, 2019)

Norma Técnica Colombiana NTC 4595

La NTC 4595 establece los requisitos y las pruebas para determinar la densidad aparente y la absorción de agua del EPS, así como las especificaciones de los bloques y paneles de EPS. (NTC, 2019)

Reglamento Técnico de Edificaciones

El Reglamento Técnico de Edificaciones (RTE) establece las especificaciones técnicas para la construcción de edificaciones en Colombia, incluyendo las normas para el uso y disposición del EPS.

Panel de Control Ambiental (PCA)

El PCA es un documento que debe ser presentado a las autoridades ambientales antes de la construcción de una obra civil, en el cual se deben describir las medidas que se tomarán para reducir el impacto ambiental de la construcción, incluyendo el manejo y disposición del EPS.

Estudios de Impacto Ambiental (EIA)

Los EIA son estudios técnicos que se deben realizar antes de la construcción de obras civiles de gran envergadura, en los cuales se deben evaluar y prevenir los posibles impactos ambientales que se pueden generar, incluyendo el manejo y disposición del EPS.

Tabla 4. Normativa sobre el Poliestireno Expandido en Colombia

Normativa	Ámbito de aplicación	Objeto
Ley 1259 de 2008	Gestión integral de residuos sólidos	Establecer los lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos, incluyendo los residuos de EPS.

Tabla 4. Continuación

Decreto 1077 de 2015	Licencia Ambiental	Establecer el procedimiento para la obtención de la Licencia Ambiental, en la cual se deben incluir las medidas de manejo y disposición del EPS.
Resolución 1407 de 2018	Manejo y disposición de residuos de EPS	Establecer los lineamientos para el manejo y disposición de residuos de EPS, incluyendo la clasificación, recolección, transporte y disposición final.
NTC 5835	Manejo y disposición de residuos sólidos	Establecer las especificaciones técnicas y los requisitos para el manejo y la disposición de residuos sólidos, incluyendo los residuos de EPS.
NTC 3503	Producción, almacén	Establecer las especificaciones técnicas y los requisitos para la producción, almacenamiento, transporte y uso del EPS en la construcción de obras civiles.
NTC 4595	Especificaciones de bloques y paneles de EPS	Establecer los requisitos y las pruebas para determinar la densidad aparente y la absorción de agua del EPS, así como las especificaciones de los bloques y paneles de EPS.
Reglamento Técnico de Edificaciones	Construcción de edificaciones	Establecer las especificaciones técnicas para la construcción de edificaciones en Colombia, incluyendo las normas para el uso y disposición del EPS.
Panel de Control Ambiental (PCA)	Construcción de obras civiles	Presentar las medidas que se tomarán para reducir el impacto ambiental de la construcción, incluyendo el manejo y disposición del EPS.
Estudios de Impacto Ambiental (EIA)	Construcción de obras civiles de gran envergadura	Evaluar y prevenir los posibles impactos ambientales que se pueden generar, incluyendo el manejo y disposición del EPS.

Usos y Aplicaciones del Poliestireno Expandido en obras de Ingeniería Civil

Bases de Hormigón de Poliestireno Expandido

En 1978, Hanna llevó a cabo una investigación para determinar el uso potencial del hormigón de poliestireno expandido como material de subbase para pavimentos, especialmente en zonas donde prevalecen condiciones invernales severas. Los trabajos incluyeron evaluaciones experimentales y analíticas. Las mediciones realizadas en secciones de pavimento en una instalación de prueba al aire libre indicaron que el hormigón de poliestireno expandido es eficaz para reducir o incluso la penetración de la escarcha en el subsuelo de pavimentos rígidos y flexibles. Además, las subbases de hormigón de poliestireno expandido reducen las deformaciones del firme. Los resultados de una investigación analítica indicaron que las subbases de hormigón de poliestireno expandido reducen eficazmente o eliminan la congelación del subsuelo bajo los pavimentos. También reducen las tensiones del pavimento y del subsuelo, aumentando así la capacidad de carga de los pavimentos. A partir de los resultados de esta investigación, se evidenció que las subbases de hormigón de poliestireno expandido tienen el potencial de reducir el daño al pavimento causado por la acción de las heladas en aquellas áreas donde el invierno es severo. (Hanna, 1978)

Composición de Cementación de Pozos

Una aplicación novedosa del poliestireno expandido, es la composición de cementación de pozos novedosa y respetuosa con el medio ambiente que comprende cemento hidráulico y poliestireno expandido reciclado triturado de baja densidad, buena resistencia a la compresión, buena conductividad térmica y capacidad de fluir, y métodos para cementar pozos con dicha composición de cementación. (Boles, 1998)

El poliestireno expandido reciclado como aditivo proporcionó compatibilidad con todas las clases de cemento y con la mayoría de los aditivos del cemento, el uso de poliestireno expandido reciclado es beneficioso porque soluciona el problema de la eliminación de los residuos de poliestireno expandido. Por lo que, se consideró que era un aditivo único y favorable para el

cemento, proporcionando una solución al problema de eliminación medioambiental asociado con el poliestireno expandido, mientras que al mismo tiempo proporcionó propiedades mejoradas a las composiciones de cementación y a los productos de cemento fraguado.

Morteros Ligeros a base de Poliestireno Expandido y Papel Cenizas de Lodos

(Ferrándiz-Mas et ál, 2014) desarrolló morteros de cemento ligeros con buenas propiedades de aislamiento térmico mediante la incorporación de poliestireno expandido (EPS) y cenizas de lodos de papel (PSA), ambos materiales de residuos problemáticos. Los morteros formados tenían baja conductividad térmica y baja densidad aparente en comparación con las muestras de control. El EPS molido produjo muestras de menor conductividad térmica que el EPS en polvo. Los morteros eficientes en el uso de los recursos que contienen hasta un 20% de PSA y un 60% de EPS se consideran adecuados para su uso en aplicaciones de pañete y enlucido. El EPS molido redujo la conductividad térmica, la densidad aparente y resistencia a la compresión superior a una cantidad equivalente de EPS en polvo. Es posible fabricar morteros sostenibles que contengan PSA y EPS que cumplen con las normas para Morteros para pañete, albañilería y enlucido.

Propiedades de Fluencia y Recuperación de la Fluencia del Hormigón con Agregados de Poliestireno.

El estudio tuvo como objetivo caracterizar el comportamiento a la fluencia del Hormigón Agregado de Poliestireno (HAP). La fluencia y la recuperación de fluencia del PAC se determinó experimentalmente y se comparó con el hormigón de peso normal. Los parámetros estudiados incluyen el contenido de árido de poliestireno (PA) y las condiciones de curado y almacenamiento. Las deformaciones últimas de fluencia del hormigón con áridos de poliestireno se estimaron mediante una expresión hiperbólica y se compararon con las de otros hormigones de peso normal. Los resultados experimentales mostraron que la fluencia del hormigón con áridos de poliestireno aumentaba con el incremento del contenido de PA (árido de poliestireno) en la mezcla. Las relaciones entre la recuperación de la fluencia y las deformaciones de fluencia disminuyeron ligeramente con el aumento del contenido de PA. con el aumento del contenido de PA. Las condiciones de curado y almacenamiento mostraron influencias notables en la fluencia del CAP, pero no para su recuperación de fluencia. Además, los resultados de la predicción de la fluencia se

compararon con los modelos de predicción modelos de predicción dados por ACI. En conclusión, al aumentar el agregado de poliestireno contenido en la mezcla de hormigón las deformaciones por fluencia y específicas de la fluencia del PAC (concreto agregado de poliestireno) aumenta significativamente. (Tang, 2014)

Propiedades Mecánicas Estáticas y Dinámicas del Poliestireno Expandido

El poliestireno expandido (EPS) se utiliza comúnmente en una variedad de aplicaciones debido a sus características de peso ligero, buen aislamiento térmico, resistencia a la humedad, durabilidad, absorción acústica y baja temperatura. Se utiliza cada vez más en la construcción de edificios como material básico de los paneles de aislamiento estructural (SIP). Algunas de estas estructuras, durante su vida útil, pueden estar sometidas a cargas dinámicas como cargas de explosiones accidentales u hostiles e impactos de escombros transportados por el viento. El conocimiento de las propiedades dinámicas de los materiales de EPS es esencial para predecir de forma fiable las prestaciones de los paneles estructurales aislados con núcleo de espuma de EPS. En esta investigación se presentan datos de ensayos estáticos y dinámicos de compresión y tracción de EPS con una densidad de 13%. de EPS con densidades de 13,5 kg/m3 y 28 kg/m3 a diferentes velocidades de deformación. (Pérez et ál, 2016)

La resistencia dinámica, el módulo de Young y las capacidades de absorción de energía de las dos espumas de EPS a diferentes velocidades de deformación se obtienen y se presentan en el artículo. A partir de los datos de los ensayos, se derivan algunas relaciones empíricas que pueden utilizarse para modelar las propiedades del EPS en simulaciones numéricas de respuestas dinámicas de paneles estructurales con núcleo de espuma de EPS sometidos a cargas de impacto y explosión.

Las propiedades dinámicas del material EPS sólo pueden extraerse a partir de los limitados datos de las pruebas. Se ha constatado que tanto la resistencia a la tracción dinámica como la deformación de rotura aumentan con la velocidad de deformación.

Evaluación de las Propiedades de Resistencia al Cizallamiento de los Poliestireno Expandido Modificado.

Se presentan los resultados de una serie de ensayos de cizallamiento directo realizados con espumas de poliestireno expandido (EPS) de residuos reciclados. Los residuos de EPS se modificaron térmicamente en un horno a 130 °C durante 15 minutos y se trituraron a tamaño de agregado antes de someterlos a ensayo. El tratamiento térmico del EPS aumentó su densidad de 15 kg/m3 a casi 200 kg/m3. Se investigó el comportamiento de resistencia al cizallamiento del EPS modificado en modificado en estados suelto y denso bajo tres tensiones normales diferentes. Los resultados de las pruebas mostraron que el comportamiento de resistencia al corte del EPS modificado es similar al de la arena. El ángulo de fricción interna del EPS modificado en estado denso es mayor que en estado suelto. Estos resultados pueden ayudar a los ingenieros geotécnicos a utilizar MEPS (poliestireno expandido modificado) como relleno ligero para terraplenes y relleno detrás de las estructuras de contención para reducir la tensión inducida en el suelo y detrás del muro. (Canakci, 2016)

Geoespuma de Poliestireno Expandido en la Construcción de Pavimentos

El poliestireno expandido (EPS) ha ofrecido soluciones a muchos problemas de ingeniería civil asociados a la construcción de pavimentos. Por ejemplo, la construcción de pavimentos sobre suelos de baja capacidad portante (como turbas y arcillas) o en regiones con inviernos rigurosos y la construcción de pavimentos sobre servicios subterráneos, se han superado con el uso de geoespuma de EPS. Este material se utiliza para muchas aplicaciones de pavimentación. Por ejemplo, como relleno ligero, aislante térmico, amortiguador de vibraciones y protección de instalaciones subterráneas. Infortunadamente, hay una serie de obstáculos que impiden que el uso de la geoespuma de EPS se convierta en una norma en todo el mundo. Hay que hacer más para desarrollar y difundir conocimientos técnicos que eviten el uso ineficaz, e incluso incorrecto, de la geoespuma de EPS. También hay espacio para la investigación en el desarrollo de aplicaciones nuevas e innovadoras para el uso de la geoespuma de EPS, y para el desarrollo de normas y procedimientos de ensayo actualizados. Para facilitar la investigación en estas áreas, este documento de revisión analiza las consideraciones de diseño, las limitaciones y los procedimientos

de garantía de calidad para el uso de EPS en aplicaciones de pavimentos, al tiempo que presta especial atención a las áreas de debilidad para las que el EPS no es adecuado. Se presta especial atención a los puntos débiles sobre los que se formulan recomendaciones. (Mohajerani, 2017) Además, detalla estudios de casos históricos en los que se utilizó EPS, así como analiza las propiedades mecánicas del EPS, y, por último, su proceso de fabricación. El poliestireno expandido parece ser un material versátil que se puede utilizar en aplicaciones de ingeniería geotécnica, particularmente en la construcción de pavimentos. Esto es posible debido a las interesantes propiedades mecánicas de la geoespuma EPS. Seguir proliferando el uso de este material en la construcción de pavimentos, para desarrollar soluciones más innovadoras a algunos de los principales problemas de la construcción de pavimentos y para garantizar que el diseño de los pavimentos se realice de forma más eficiente. (Mohajerani, 2017)

Poliestireno Expandido (EPS) en la Construcción de Carreteras

Ligero con una resistencia y un aislamiento térmico versátiles., estas características convierten al EPS en una excelente alternativa a los materiales para la viabilidad de proyectos de edificación y construcción que de otro modo estarían destinados, por tiempo y costos de ejecución, a ser pospuestos o enajenados. Concretamente, esta tecnología se ha utilizado con éxito en el sector de las infraestructuras viarias en los últimos veinte años en la construcción de carreteras, estribos de puentes, terraplenes ligeros y rellenos, sobre todo para la rápida restauración de carreteras en peligro tras derrumbes o calamidades, lo que representa una solución interesante y resistente en zonas expuestas a riesgos sísmicos o vibraciones persistentes. Así, los autores quieren ofrecer un análisis crítico de las diferentes aplicaciones del EPS para carreteras en Italia, considerando beneficios e inconvenientes, proponiendo consideraciones técnicas y económicas para condiciones ideales de uso y sugiriendo métodos y herramientas de análisis de fallos. Se concluye que las construcciones viales en poliestireno expandido es una solución sumamente eficaz para problemas de infraestructura donde la ligereza representa un requisito imprescindible. La facilidad de instalación y la versatilidad de bloques de EPS permiten la construcción de sólidos con una geometría atrevida, aptos para hacer frente a las tensiones previstas en su interior la carretera firme sobre suelos difíciles o estructuras potencialmente expuestas a acciones estáticas o dinámicas permanentes. (Giuliani, 2020)

Geoespuma de Poliestireno Expandido

Geofoam es el nombre genérico dado a los bloques ligeros de poliestireno expandido (EPS) o poliestireno extruido (XPS). El objetivo principal de la geoespuma de EPS es proporcionar relleno de material ligero utilizado en la construcción de carreteras o vías férreas y en los estribos de puentes. Además, otros ámbitos de aplicación de la geoespuma de EPS son la protección de protección de tuberías y alcantarillas, rotura de puente térmico (aislamiento), sistemas de barrera contra el oleaje, etc. La estructura del material en la geoespuma de EPS consiste en abundantes burbujas de aire abiertas que están unidas, pegadas o fusionadas, y a veces agrupadas; Se fabrica a partir del proceso de extrusión de perlas de poliestireno en bruto. Los tubos individuales pueden tener formas geométricas aleatorias simples en su sección transversal. La geo-espuma se utiliza en una gran variedad de aplicaciones de ingeniería civil, especialmente en geotecnología. Sin embargo, se requerirá más investigación y desarrollo para mejorar las directrices existentes y ofrecer soluciones más rentables. (Tafreshi, 2020)

Respuesta de las Cimentaciones de Pavimentos que Incorporan Geoceldas y Geoespuma de Poliestireno Expandido (EPS)

(Siabil, 2020) estudió la idoneidad del refuerzo con geoceldas para reducir la profundidad de ahuellamiento, los asentamientos superficiales y/o las grietas del firme durante la vida útil de los pavimentos apoyados sobre bloques de geoespuma de poliestireno expandido (EPS) se estudia utilizando una serie de ensayos de carga de placa cíclica a gran escala más una serie de simulaciones numéricas simplificadas. Se constató que la mejora debida a la provisión de geocelda aumenta constantemente a medida que aumentan los ciclos de carga en la profundidad de los surcos; en la superficie del pavimento disminuye significativamente debido al aumento de la resistencia lateral proporcionada por la geocelda en la capa de suelo suprayacente. La eficacia del refuerzo con geoceldas depende de la amplitud de la presión aplicada: al aumentar la amplitud de presión cíclica aprovecha cada vez más las ventajas del refuerzo con geoceldas. Los modelos numéricos tridimensionales verificados ayudaron a comprender mejor los mecanismos implicados Los factores de mejora obtenidos en este estudio permiten a un diseñador elegir valores apropiados para la cimentación de un pavimento reforzado con geoceldas sobre geoespuma de EPS.

Para evitar el fallo de la geoespuma de EPS o el asentamiento a largo plazo del terraplén requiere una distribución suficiente de las cargas impuestas en la superficie del terreno para que las tensiones sobre el EPS no sean demasiado grandes. Esto podría conseguirse con capas gruesas de suelo, pero no es deseable porque aumenta la masa del terraplén mientras que el objetivo del EPS era reducirla.

Comportamiento de Hinchamiento de Expansivos Estabilizados con Geoespuma de Poliestireno Expandido

(Selvakumar, 2020) llevó a cabo un programa de investigación en laboratorio para estudiar la eficacia de la inclusión de geoperlas (GB) para detener el potencial de hinchamiento de los suelos expansivos. Se estudió comportamiento de hinchamiento del suelo sin GB fue estudiado y comparado con un espécimen de suelo con inclusión de GB. La investigación experimental se llevó a cabo en una muestra de suelo compactado estáticamente y se probó en un gran equipo de consolidación unidimensional. También se realizaron ensayos de hinchamiento-compresión en muestras de suelo con y sin inclusión de GB. La inclusión comprimible de GB reciclado conduce a una reducción significativa de la hinchazón. La reducción en el potencial de hinchamiento se puede atribuir a la sustitución de la arcilla expansiva por EPS prensables que actúan como una inclusión u obstrucción al flujo de agua hacia el suelo.

Un modelo de Plasticidad de Superficie Límite para la Mezcla de Poliestireno Expandido y Arena.

(Ma, 2022) presenta un modelo de plasticidad de superficie límite para capturar las respuestas de tensión-deformación de la mezcla de poliestireno expandido (EPS)-arena con varios niveles de contenido de EPS. Basándose en las respuestas mecánicas en ensayos isotrópicos y triaxiales, se aplicó un concepto generalizado de relación de vacíos a las características potenciales de deformación de las perlas de EPS. El modelo de plasticidad se formuló en el marco del concepto de estado crítico. En aras de la simplicidad, se aplicó la función de fluencia en forma de gota de lluvia para describir la superficie límite, y se adoptó una regla de flujo no asociada para capturar la deformación plástica. Así, este modelo requirió menos parámetros de modelo, la mayoría de los

cuales pudieron calibrarse mediante ensayos isotrópicos y triaxiales convencionales. Al considerar el efecto de debilitamiento causado por la inclusión de EPS, se aplicó un tratamiento especial a los parámetros dependientes de la proporción de EPS. La capacidad del modelo propuesto se demostró mediante una simulación de mezclas de EPS y arena con diferentes proporciones de EPS y diversas presiones de confinamiento.

Se demostró la consideración de dos mecanismos competitivos principales, a saber, la dilatación volumétrica plástica inducida por la arena en estado denso y la compactación/contracción volumétrica plástica inducida por la inclusión de EPS. El modelo de plasticidad de superficie límite propuesto pudo capturar los principales comportamientos mecánicos de las mezclas de EPS y arena, lo que implica que era adecuado para aplicaciones de ingeniería.

Mitigación de Asentamientos en Puentes Utilizando Espuma de Poliestireno Expandido como Relleno Ligero: Estudio de Caso y simulación 3D

(Malai, 2022) presenta el comportamiento de la estructura de aproximación de un puente, que se reparó utilizando espuma de poliestireno fundido como relleno de sustitución sobre arcilla blanda de Bangkok. Es decir, se evidencia el uso del poliestireno en la ingeniería, dado que el puente comenzó a construirse 20 años antes de las medidas correctoras. Se presentó el asentamiento de la estructura de aproximación del puente antes de que comenzara el proyecto y tras su finalización. Tras las medidas correctoras, los índices de asentamiento tienden a disminuir al cabo de 100 días.

El comportamiento de la estructura de aproximación del puente se modelizó mediante elementos finitos. La deformación en función del tiempo de la geoespuma de EPS puede predecirse mediante una ecuación empírica por el método de optimización. El análisis de elementos finitos tridimensional pudo predecir el comportamiento global de la estructura de aproximación del puente utilizando EPS como material de relleno con dependiente del tiempo. La predicción antes y después de la medición de remediación del terraplén fue utilizando parámetros similares del modelo. Las consideraciones importantes para simular el comportamiento del terraplén de EPS fueron a largo plazo, la degradación a largo plazo de la rigidez del bloque de EPS y el hundimiento del terreno.

Propiedades de Contracción por Secado del Poliestireno Expandido (EPS) Concreto de Agregado Liviano: una Revisión

El poliestireno expandido (EPS) se utiliza actualmente en materiales sostenibles debido a su densidad ultrabaja y su rendimiento térmico superior. Puede incorporarse a las mezclas de hormigón para sustituir a los áridos gruesos y producir hormigón de áridos ligeros (HAL). El presente estudio sintetizo las publicaciones sobre la contracción por secado de hormigones ligeros que contienen poliestireno expandido. De acuerdo con los estudios previos, el desarrollo de la retracción por secado en el hormigón de poliestireno expandido (EPS) ha sido descrito como un problema en la mayoría de los casos.

Poliestireno expandido (EPS) es mayor que la del hormigón convencional, lo que debe tenerse en cuenta para su aplicación en la construcción. Se atribuye principalmente al bajo módulo elástico y las propiedades mecánicas del EPS. Sin embargo, la incorporación de aditivos y fibers puede mejorar sus propiedades de resistencia a la retracción. En conclusión, el concreto agregado de poliestireno (PAC) mostró una tensión de contracción por secado más significativa en fracciones de agregado de poliestireno más altas. Y la razón principal es la baja densidad de los agregados de poliestireno. rigidez y alta compresibilidad, que ofrecen poca restricción al proceso de contracción. (Maghfouri M. A., 2022)

Exploración de la Aplicabilidad de Paneles de Hormigón a Base de Poliestireno Expandido (EPS) como Aislamiento de Losas de Tejado en Zonas Tropicales.

La transferencia de calor a través de los forjados de los tejados aumenta significativamente el consumo energético operativo de los edificios. Por lo tanto, es necesario aplicar medidas pasivas para mejorar el rendimiento térmico de las losas de cubierta en climas tropicales. (Meddage, 2022) presenta un novedoso aislamiento de losas de tejado mediante paneles ligeros de hormigón a base de poliestireno expandido (EPS). El flujo de trabajo consiste en experimentos de campo y simulaciones numéricas realizadas en Design Builder. Además, ofrece un enfoque holístico del ciclo de vida para investigar la viabilidad económica y medioambiental de formas alternativas. En consecuencia, la losa de cubierta con 75 mm de aislamiento de EPS y una superficie expuesta blanca obtuvo resultados satisfactorios. Las reducciones correspondientes en el costo del ciclo de

vida, las emisiones de carbono (kgCO2e) y el consumo de energía operativa fueron del 8,3%, el 20% y el 10%, respectivamente y el consumo energético operativo fueron del 8,3%, el 20% y el 41%, respectivamente. El índice global de ecoeficiencia (IEE) implica que el sistema de aislamiento recomendado es viable desde el punto de vista medioambiental y económico en condiciones climáticas tropicales. Además, la fabricación de hormigón de EPS es respetuosa con el medio ambiente ya que reduce el contenido de residuos de EPS que no se descomponen por medios naturales.

Bloques de Hormigón Ligero Fabricados con Poliestireno Expandido y Agente Espumante

En el escenario actual, la eliminación de residuos es una de las tareas más complicadas para la mayoría de los ingenieros. Por ello, de residuos como el EPS (poliestireno expandido) en bloques de hormigón macizo. Esto ha reducido el impacto de las operaciones de extracción y procesamiento en el medio ambiente, además de ser económico. En comparación con otros materiales como el acero y la madera, el uso de hormigón ligero espumado presenta numerosas ventajas, como el ahorro de costos, la rapidez de compactación y la facilidad de aplicación. (Vinod, 2022) investigó el Hormigón Celular Ligero (HCL) utilizando perlas de poliestireno expandido (EPS). (EPS). El HLC no es un invento reciente, Se ha utilizado cemento Arena manufacturada (MSand), cenizas volantes (clase F), escoria de alto horno granulada molida (GGBS), fibras de polipropileno, EPS, espumógeno, etc. fibras de polipropileno, EPS, agente espumante que es el alcohol benzoílico y agua. El HLC se utiliza mucho porque tiene menos densidad. En este trabajo de investigación, se realizaron pruebas de calidad del agua, resistencia a la compresión y conductividad térmica en bloques endurecidos con perlas de EPS. La adición de cenizas volantes y GGBS a la mezcla redujo la demanda de agua al reducir la hidratación y la huella de carbono, lo que resultó en una reducción de la contracción, pero también redujo la resistencia a la compresión de los bloques en torno a un 25-50%. El hormigón con una densidad inferior a 1800 kg/m3 se denomina comúnmente hormigón ligero. Este estudio se centra en la investigación del hormigón ligero con perlas de poliestireno expandido (EPS). El hormigón con áridos de EPS tiene mayor resistencia a la compresión que los ladrillos de arcilla y menor que los bloques convencionales, con una densidad de 1000 kg/m3. El cemento se sustituye por cenizas volantes GGBS en un 30,0%, reduciendo así el contenido de agua, la densidad y la contracción. Aunque se reducen la densidad

y la contracción, disminuye la resistencia a la compresión. Los resultados sugieren que los bloques ligeros sólo pueden utilizarse para construcciones no estructurales, donde tiene poco peso y baja conductividad térmica. Al comparar bloques ligeros con los bloques convencionales, los bloques ligeros son más rentables y económicos y poseen mayor resistencia en comparación con los bloques convencionales.

Hormigón Aligerado con Poliestireno Expandido (EPS): Rendimiento y Aspectos Medioambientales

El hormigón ligero con poliestireno expandido (EPS) se utiliza desde hace varias décadas. El EPS sirve para reducir el peso estructural del material para la construcción prefabricada con un mayor aislamiento térmico/acústico. Principalmente, el cordón de EPS se sustituyó parcialmente por áridos gruesos y finos. Los resultados se analizaron e informaron el rendimiento, las propiedades mecánicas y el rendimiento a largo plazo. Además, se analizaron los usos funcionales del material, como el aislamiento contra la humedad, el aislamiento térmico y el aislamiento acústico del material. Por otra parte, estudios recientes se han centrado en los materiales a base de cemento con perlas de EPS reciclado. Por último, se analizaron los retos y las soluciones viables que plantea el uso de estos materiales para hacer frente a los actuales problemas medioambientales mundiales, como la calidad del aire y la sostenibilidad. y la sostenibilidad. Estos retos son seriamente problemáticos para producir el material siguiendo la reciente tendencia mundial; cuando no pueda resolverse, o bien el árido ligero Cuando no se pueda resolver, se podrían utilizar mejor los áridos ligeros con ingredientes minerales o el hormigón celular espumado. (Prasittisopin, 2022)

Caracterización Ultrasónica del Poliestireno Expandido Utilizado en Túneles poco Profundos bajo Excitación Sísmica.

El poliestireno expandido (EPS) se utiliza como inclusión para mitigar las tensiones que actúan sobre los túneles. (Abd-El-Mottaleb, 2022) estudió la eficacia de la utilización de EPS para reducir las cargas dinámicas que actúan sobre los túneles poco profundos. Para medir ello, se caracterizó el módulo de elasticidad dinámico (Ed) y el módulo de cizallamiento (G) de EPS con

densidades iguales a 25, 30 y 35 kg/m3 se caracterizaron a partir de series de ensayos ultrasónicos, en los que Ed osciló entre 3500 y 6578 kPa y G oscilaba entre 1535 y 2741 kPa. Se estableció una correlación entre la densidad del EPS y el coeficiente de amortiguación, que osciló entre el 1% y el 2,3% en función de G y el decaimiento de la onda ultrasónica. Se desarrolló un modelo para un túnel excavado y cubierto con EPS a lo largo de sus paredes laterales y se realizó un estudio paramétrico utilizando la relación entre el espesor del EPS y la profundidad del túnel. Utilizando una relación entre el espesor del EPS y la profundidad del túnel (tx/h1) que variaba entre 0,05 y 0,20. En las secciones críticas del túnel, las fuerzas normales y la flexión se redujeron un 30% y un 46%, respectivamente. La densidad de EPS afecta significativamente la amplitud máxima y la velocidad de onda de la respuesta dinámica.

Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso y aplicaciones del Poliestireno Expandido en obras de Ingeniería Civil

Proyecto	**Año**	**Fuente**	**Ventaja**	**Desventajas**
Bases de Hormigón de Poliestireno Expandido	1978	Hanna	Reducción de peso y costos de construcción Aislamiento térmico y acústico Resistencia a la humedad y a los insectos	No se recomienda para estructuras de alta carga Vulnerable a los daños por los rayos UV Dificultad para fijar elementos a la superficie
Composición de Cementación de Pozos	1998	Troncos	Aumenta la productividad de los pozos Reducción de costos de cementación Mayor resistencia a la temperatura y la presión	Dificultad para controlar el tiempo de fraguado Puede causar problemas de formación de canalización
Morteros Ligeros a base de Poliestireno Expandido y Papel Cenizas de Lodos	2014	Ferrándiz-Mas & V.	Reducción de peso y costos de construcción Aislamiento térmico y acústico Mejora la eficiencia energética	Puede reducir la resistencia del mortero Puede ser vulnerable a la humedad y a los insectos

Tabla 5. Continuación

Propiedades de Fluencia y Recuperación de la Fluencia del Hormigón con Agregados de Poliestireno	2014	Tang	Aumenta la durabilidad y la resistencia a la compresión del hormigón Reducción de peso y costos de construcción Aislamiento térmico y acústico	Puede reducir la resistencia a la tracción Puede ser vulnerable a la humedad y a los insectos
Propiedades Mecánicas Estáticas y Dinámicas del Poliestireno Expandido	2015	Chen	Ligero y de bajo costo Alta resistencia a la compresión y flexión Resistencia al agua y al fuego	Baja resistencia a la tracción Vulnerable a la exposición prolongada al sol y a la intemperie
Evaluación de las Propiedades de Resistencia al Cizallamiento de los Poliestireno Expandido Modificado	2016	Canakci H. A.	Mejora la resistencia al cizallamiento Ligero y de bajo costo Resistente al agua y al fuego	Baja resistencia a la tracción Vulnerable a la exposición prolongada al sol y a la intemperie
Geoespuma de Poliestireno Expandido en la Construcción de Pavimentos	2017	Mohajerani y A	Reducción de peso y costos de construcción Aislamiento térmico y acústico Resistente a la humedad y a los insectos	Puede reducir la resistencia del pavimento Vulnerable a la exposición prolongada al sol y a la intemperie
Poliestireno Expandido (EPS) en la Construcción de Carreteras	2020	Giuliani	Reducción de peso y costos de construcción Aislamiento térmico y acústico	Vulnerabilidad a la intemperie: El EPS puede ser afectado por la exposición a la intemperie, lo que

Tabla 5. Continuación

	2020		Mejora la eficiencia energética	puede provocar su descomposición y deterioro a largo plazo.
Geoespuma de Poliestireno Expandido	2020	Tafreshi S. M.	Excelente resistencia a la compresión y la tensión Bajo costo y peso Buena resistencia a la humedad y al deterioro	Menor resistencia al fuego en comparación con otros materiales de construcción No es biodegradable y puede tener un impacto negativo en el medio ambiente
Respuesta de las Cimentaciones de Pavimentos que Incorporan Geoceldas y Geoespuma de Poliestireno Expandido (EPS)	2020	Siabil	Mayor capacidad de carga y reducción de asentamientos en comparación con las cimentaciones tradicionales Mayor durabilidad y vida útil de la carretera Reducción de costos de construcción y mantenimiento	Requiere una instalación más técnica y cuidadosa para evitar la falla temprana Menor resistencia al desgaste en comparación con las cimentaciones convencionales
Comportamiento de Hinchamiento de Expansivos Estabilizados con Geoespuma de Poliestireno Expandido	2020	Selvakumar	Excelente resistencia a la compresión y la tensión Reducción significativa del hinchamiento y la contracción del suelo Mejora de la estabilidad y la capacidad de soporte del suelo	No es biodegradable y puede tener un impacto negativo en el medio ambiente -Costos más altos en comparación con los estabilizadores de suelo convencionales
Un modelo de Plasticidad de Superficie Límite para la Mezcla de	2022	Mamá	Buena resistencia al fuego Bajo costo y peso	Menor resistencia a la tensión y la compresión en comparación con otros materiales de construcción

Tabla 5. Continuación

Poliestireno Expandido y Arena			Mejora de la durabilidad y la vida útil de la estructura	Necesita una instalación más técnica y cuidadosa para evitar la falla temprana
Mitigación de Asentamientos en Puentes Utilizando Espuma de Poliestireno Expandido como Relleno Ligero: Estudio de Caso y simulación 3D	2022	Malai	Mayor capacidad de carga y reducción de asentamientos en comparación con los rellenos convencionales Reducción de costos de construcción y mantenimiento	Requiere una instalación más técnica y cuidadosa para evitar la falla temprana Menor resistencia al desgaste en comparación con los rellenos convencionales
Propiedades de Contracción por Secado del Poliestireno Expandido (EPS) Concreto de Agregado Liviano: una Revisión	2022	Maghfouri M. Un	Bajo costo y peso Mejora de la durabilidad y la vida útil de la estructura Reducción de costos de construcción y mantenimiento	Menor resistencia a la tensión y la compresión en comparación con otros materiales de construcción
Paneles de Hormigón a Base de Poliestireno Expandido (EPS) como Aislamiento de Losas de Tejado en Zonas Tropicales	2022	Meddage, 2022	Excelente aislamiento térmico y acústico Resistencia al fuego y al agua	Costo inicial Puede ser Mayor que otros aislamientos Puede ser Vulnerable a los rayos UV
Bloques de Hormigón Ligero Fabricados con	2022	Vinod, 2022	Bajo peso y alta resistencia mecánica Buen Aislamiento	Puede ser más costoso que los bloques de concreto convencional

Tabla 5. Continuación

Poliestireno Expandido y Agente Espumante			térmico y acústico Fácil y rápido de instalar	
Hormigón Aligerado con Poliestireno Expandido (EPS)	2022	Prasittisopin, 2022	Bajo peso y alta resistencia mecánica Aislamiento térmico y acústico mejorado Fácil de trabajar y transportar	Resistencia al fuego moderada No es adecuado para estructuras que requieren alta resistencia
Caracterización Ultrasónica del Poliestireno Expandido Utilizado en Túneles poco Profundos bajo Excitación Sísmica	2022	Abd-El-Mottaleb, 2022	Permite conocer las propiedades mecánicas del material Puede ser utilizado para la inspección no destructiva Ayuda a mejorar el diseño y la construcción de túneles	El equipo de ultrasonido puede ser costoso

Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones de la monografía en relación a los objetivos específicos planteados:

- Se identificaron y explicaron los conceptos técnicos y teóricos más relevantes relacionados con el Poliestireno Expandido en el ámbito de la Ingeniería Civil.
- Se abordaron las normativas y regulaciones nacionales e internacionales relacionadas con el uso y disposición del material, lo que permite a los profesionales del sector cumplir con los requisitos legales.
- Se identificaron y describieron las aplicaciones más comunes del material en el sector de la construcción, destacando su versatilidad y beneficios en términos de aislamiento térmico, acústico, resistencia mecánica y bajo peso específico.
- Se presentaron ejemplos concretos de proyectos de Ingeniería Civil donde se utilizó Poliestireno Expandido, lo que permitió visualizar su potencial en diferentes tipos de obras.
- Se presentaron recomendaciones prácticas para el manejo y disposición adecuada del material, con el fin de minimizar su impacto ambiental y fomentar su reutilización.
- Se destacó la importancia de implementar medidas de control y monitoreo ambiental en el uso del material en obras de Ingeniería Civil.
- Se resaltó la necesidad de promover el uso sostenible del Poliestireno Expandido en el sector de la construcción, como parte de un enfoque más amplio hacia la construcción sostenible.

Recomendaciones

A continuación, se presentan algunas recomendaciones para el uso, manejo, disposición y reutilización del poliestireno expandido (EPS) en obras de ingeniería civil, con el fin de minimizar su impacto ambiental:

- ✓ Usar EPS con contenido reciclado:

Se recomienda utilizar EPS que contenga material reciclado, para reducir la cantidad de residuos que se generan y disminuir la extracción de materias primas. Además, el uso de EPS reciclado puede reducir la huella de carbono asociada a la producción de nuevos materiales.

- ✓ Minimizar la generación de residuos:

Se debe tratar de minimizar la cantidad de residuos que se generan durante la producción y el uso del EPS. Por ejemplo, se puede optimizar el corte de las piezas de EPS para evitar el desperdicio de material.

- ✓ Disposición adecuada de los residuos:

Es importante disponer adecuadamente los residuos de EPS para evitar su acumulación en vertederos o en el medio ambiente. El EPS se puede reciclar, reutilizar o enviar a instalaciones especializadas de disposición de residuos. En Colombia, existen empresas que se dedican a la recolección y reciclaje de EPS, como, por ejemplo, Ecoplast.

- ✓ Reutilización del EPS:

El EPS también puede ser reutilizado en la construcción de estructuras y edificios, mediante el uso de paneles prefabricados o bloques de EPS. Esta opción puede reducir la cantidad de residuos y disminuir el consumo de materiales de construcción convencionales.

Es importante que los profesionales de la ingeniería civil tomen en cuenta estas recomendaciones al utilizar el EPS en la construcción de obras civiles, con el fin de minimizar su impacto ambiental y promover su uso sostenible.

Futuras Investigaciones

En Colombia, el uso del poliestireno expandido (EPS) en la ingeniería civil ha ganado terreno en los últimos años debido a su alta capacidad aislante y bajo consumo energético, pero aún hay desafíos que se deben abordar para mejorar su impacto ambiental. A continuación, se presentan algunas futuras investigaciones que se pueden llevar a cabo a nivel de Colombia:

- Evaluación del impacto ambiental local:

Aunque el EPS puede ser una solución efectiva para reducir el consumo de energía en los edificios, es importante evaluar su impacto ambiental local en Colombia. Se pueden llevar a cabo estudios para evaluar el impacto del EPS en el clima, la calidad del aire y la calidad del agua en las regiones donde se utiliza.

- Desarrollo de políticas y regulaciones:

Es necesario que el gobierno colombiano desarrolle políticas y regulaciones que fomenten el uso sostenible del EPS en la construcción. Se pueden llevar a cabo investigaciones para desarrollar directrices y estrategias para el uso sostenible del EPS en Colombia.

- Investigación en nuevos materiales:

Se pueden llevar a cabo investigaciones para encontrar alternativas más sostenibles al EPS en la construcción, como el uso de materiales renovables y biodegradables. También se pueden estudiar nuevas formas de combinar materiales para mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental.

- Mejora en la gestión de residuos:

La gestión de residuos sigue siendo un problema en Colombia, especialmente en áreas urbanas. Se pueden llevar a cabo investigaciones para mejorar la eficiencia y la rentabilidad del reciclaje de EPS y encontrar nuevos usos para el material reciclado.

En definitiva, la investigación continua es necesaria para mejorar la sostenibilidad del uso del EPS en la ingeniería civil en Colombia y mitigar su impacto ambiental en el país. Además, es importante involucrar a todas las partes interesadas, incluyendo el gobierno, los fabricantes, los ingenieros y los arquitectos, para desarrollar soluciones sostenibles y abordar los desafíos que se presentan en el uso del EPS en la construcción en el país.

Referencias bibliográficas

Abd-El-Mottaleb, H. E. (2022). Ultrasonic characterization of expanded polystyrene used for shallow tunnels under seismic excitation. Ain Shams Engineering Journal, 13(5), 101722. https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101722

Almeida Avila, C. G. (2014). Uso de bloques de poliestireno expandido en terraplenes. [Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2972

Anape. (04 de Abril de 2011). Asociación Nacional de poliestireno Expandido. Obtenido de https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/50466-El-EPS-en-laingenieriacivil.html

Arancibia, F.(Agosto de 2011). Ingenieria y construccion. https://facingyconst.blogspot.com/2011/08/poliestireno-en-la-construccion.html

Babu, D. S.-H. (2006). Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete . Cement and Concrete Composites, 28(6), 520-527. http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.02.018

BBC. (02 de Julio de 2015). ¿Por qué cada vez más ciudades prohíben el poliestireno?. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150701_poliestireno_prohibicion_lp

Beltan, J. (2017). Análisis de alternativas para la gestión ambiental de los residuos de demolición y construcción (RCD), en la ciudad de Bogotá a partir del ciclo de vida y la economía circular. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio. https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16981

Betancourt S., D. J. (2016). Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes. Luna Azul, 43), 286-310. https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.13

Boles, J. L. (1998). U.S. Patent . No. 5,736,594.

Canakci, H. A. (2016). Evaluation of shear strength properties of modified expanded polystyrene aggregate. Procedia engineering, 161, 606-610. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.708

Cataluña, A. d. (2016). Guía técnica de gestión de residuos de construcción y demolición.

Chen, W. H. (2015). Static and dynamic mechanical properties of expanded polystyrene. . Materials & Design, 69, 170-180. http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.12.024

Comisión Europea. (11 de Febrero de 2018). Espuma plástica en aislamiento de edificios. Obtenido de https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling_en

Contreras, L. K. (2015). Investigación de mercados aplicada a la gestión de poliestireno expandido en la ciudad de Pereira. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio. https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/003ac4a3-e58d-439b-aa39-8b30a98b4654/content

Cordoba, O. G. (2015). Evaluación de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido(Duropor). [Informe final]. Universidad de San Carlos de Guatemala. https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2014-44.pdf

Dávila, J. M. (2014). La utilización del poliestireno expandido en obras de geotécnia. [Trabajo de grado, Universidad de Sevilla]. Repositorio. https://idus.us.es/handle/11441/74934

De Marco, A. T. (2018). Energy and environmental performance of EPS insulation in building retrofitting: A review. Energy and Buildings, 166, 343-353.

Departamento de Medio Ambiente y Energía. (2019). Prohibición de espuma de poliestireno. Obtenido de https://www.environment.gov.au/waste/waste-policy-and-regulation/banpolystyrene-foam

Doroudiani, S. O. (2010). Environmental, health and safety concerns of decorative mouldings made of expanded polystyrene in buildings. Build Environ, 45 (3), 647–654. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.004

EPS Industry Alliance. (11 de Febrero de 2023). EPS Industry Alliance. Obtenido de https://www.epsindustry.org/

Ferrándiz-Mas et ál. (2014). Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash. Construction and Building Materials, 61, 285-292. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.028

Ferrándiz-Mas, V. (2019). Diseño de morteros de cemento livianos a medida que contienen poliestireno expandido dedesecho mediante métodos estadísticos experimentale. Material Desing, 901-912. [Tesis doctoral no publicada]. Universitat d'Alacant

Fomento, M. d. (2006). Catálogo de elementos constructivos de fachadas ventiladas con poliestireno expandido.

García-Segura et ál. (2017). Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations and crushed clay brick as aggregate. Journal of Cleaner Production. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.085

Giovanny, F. R. (2012). Análisis del poliestireno expandido como material de relleno en suelos de alta compresibilidad. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio. http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6422

Giuliani, F. A. (2020). Expanded polystyrene (EPS) in road construction: Twenty years of Italian experiences. . Transportation Research Procedia, 45, 410-417. http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.033

Hanna, A. N. (1978). Expanded polystyrene concrete subbases. . Transportation Research Record, (675). pp.1-6

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2019). NTC, I. C. (2019). Poliestireno Expandido (EPS): Especificaciones. Icontec

Khan, M. M. (2018). Experimental investigation of the shear behavior of EPS geofoam. Int. J. Geosynth. Gr. Eng., 4 (2), 12. doi:doi.org/10.1007/s40891-018- 0129-7

Ma, J. C. (2022). A bounding surface plasticity model for expanded polystyrene-sand mixture. Transportation Geotechnics, 32, 100702. http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100702

Maghfouri, M. A. (2022). Drying shrinkage properties of expanded polystyrene (EPS) lightweight aggregate concrete: A review. . Case Studies in Construction Materials, e0091. http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00919

Malai, A. Y. (2022). Bridge approach settlement mitigation using expanded polystyrene foam as light backfill: Case study and 3D simulation. . Transportation Geotechnics, 35, 100794. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100794

Meddage, D. P. (2022). Exploring the applicability of expanded polystyrene (EPS) based concrete panels as roof slab insulation in the tropics Case Studies in Construction Materials. 17, e01361. http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01361

Meza Castellar, P. T.-T. (2016). Uso de poliestireno expandido reciclado para la obtención de un recubrimiento anticorrosivo. Producción + Limpia, 13-21. http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v11n1/v11n1a02.pdf

Mohajerani, A. e. (2017). Expanded polystyrene geofoam in pavement construction. Construction and Building Materials, 157, 438-448. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.113

National Insulation Association NIA. (1 de Abril de 2012). ¿Qué es el aislamiento EPS?: Exploring Insulation Materials. Obtenido de https://insulation.org/

Ospina, S. L. (2017). Comparative analysis of cement modified soil mixes with non-biodegradable materials. Infraestructura Vial, 5-14. https://www.scielo.sa.cr/pdf/infraestructura/v19n33/2215-3705-infraestructura-19-33-5.pdf

Prasittisopin, L. T. (2022). Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects. Journal of Cleaner Production, 132919. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132919

Quintero, C. H. (2013). Reciclaje termo-mecanico del poliestireno expandido (icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios. [Trabajo de grado, Universidad de Manizales]. Repositorio. https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/762/TESIS%20CARLOS%20QUINTERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, D. (17 de Mayo de 2022). Diario El Portafolio. Colombia genera 12 millones de toneladas de basura al año. https://www.portafolio.co/economia/finanzas/colombia-genera-12-millones-de-toneladasde-basura-al-ano-565581

Sanchez, J. S., & Gonzalez., O. D. (2017). Aprovechamiento de residuos industriales de poliuretano termoestables en la elaboración de paneles para terminados onstructivos, a partir de patente brasileña. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio. https://hdl.handle.net/10983/22927

Selvakumar, S. &. (2020). Swelling behavior of expansive soils stabilized with expanded polystyrene geofoam inclusion. . In New Materials in Civil Engineering, 745-776. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818961-0.00024-7

Siabil, S. G. (2020). Response of pavement foundations incorporating both geocells and expanded polystyrene (EPS) geofoam. Geotextiles and Geomembranes , 48(1), 1-23. http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.103499

Stark, T. A. (2004). Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments. Transportation Research Board, Washington, D.C, No. NCHRP Project 24-11). https://trb.org/publications/nchrp/nchrp_w65.pdf

Tafreshi, S. M. (2020). Expanded polystyrene geofoam. In New Materials in Civil Engineering, 117-153. https://core.ac.uk/download/pdf/228167841.pdf

Tang, W. C. (2014). Creep and creep recovery properties of polystyrene aggregate concrete. Construction and Building Materials, 51, 338-343. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.093

Tecnolopol. (2020). El uso del Geofoam en la ingeniería civil. https://tecnopol.mx/el-uso-del-geofoam-en-la-ingenieria-civil/

Vasquez, J. A. (2010). Estudio Tecnico y economico de una vivienda socila utilizando ladrillos de poliestireno expandido. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim385e/doc/bmfcim385e.pdf

Vinod, B. R. (2022). Lightweight concrete blocks produced using expanded polystyrene and foaming agent. Materials Today: Proceedings, 52, 1666-1670. http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.503